

河岸のオーバーハングと間欠的崩落を考慮した河岸浸食モデル

北海道大学 正会員

○木村 一郎

北海道大学 学生員 Supapap Patsinghasanee

北海道大学 フェロー会員

清水 康行

1. はじめに

河岸浸食過程の解明や予測は、河川防災や河川環境において極めて重要な課題である。従来から河岸浸食過程を予測する数値解析モデルが提案されてきたが、その多くは非粘着性河岸材料を想定し、河岸傾斜角度が安息角度を超えないように連続的に河岸を崩落させ、川幅が拡大するという仮定に基づいている¹⁾。しかしながら、河岸が粘着性を有する場合、河岸浸食過程はこれとは全く異なり、河岸角度が垂直、あるいはオーバーハングし、それが間欠的に崩落する。粘着性を考慮したモデルも提案されているが²⁾、オーバーハングやその間欠的崩落過程を忠実に再現しうるものは少ない。本研究では、このようなコンセプトのモデルを新たに提案する。

2. モデルの概要

本研究では、実用モデル構築の一步として、流れ方向は一様とし、横断二次元面内のモデルを構築する。図1に示すように、流れは粗い一次元格子、河床（掃流砂）は細かい一次元格子、河岸は細かい二次元格子で構成するトリプルグリッドモデルとする。河岸は粘着性材料とし、浸食や崩落が生じた後は、粘着性を喪失し掃流砂として運動するものとする。

・ 河岸浸食モデル

流水により粘着性河岸の浸食量を、既往研究にならって次式で計算する

$$\Delta V_{er} = C_{ero} \left(\frac{\tau^* - \tau_{ce}^*}{\tau_{ce}^*} \right)^{3/2} A_{er} \Delta t \quad (1)$$

ここに、 τ^* : 無次元掃流力、 Δt : 時間ステップ、 A_{er} : 浸食面積、 ΔV_{er} : Δt 時間の浸食体積、 τ_{ce}^* : 侵食発生限界無次元掃流力、 C_{ero} : モデル定数である。浸食された土砂は、河床に落下して掃流砂となるが、落下位置は図2に示すような3通りのケースが存在する。また、河岸の二次元格子については、次式で示される土砂占有率を導入する。

$$\phi = \frac{V_{soil}}{V_{cell}} \quad (0 \leq \phi \leq 1) \quad (2)$$

ここに、 V_{cell} : 二次元計算セル体積、 V_{soil} : 当該計算セル中の土砂体積である。簡単のため土砂占有率が0より大きい場合は河岸セル内に水や掃流砂が侵入しないと、 ϕ が0となった時点で当該河岸セルを消去する。

キーワード 河岸浸食, 粘着性土壌, 数値解析,

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学研究院環境フィールド工学部門

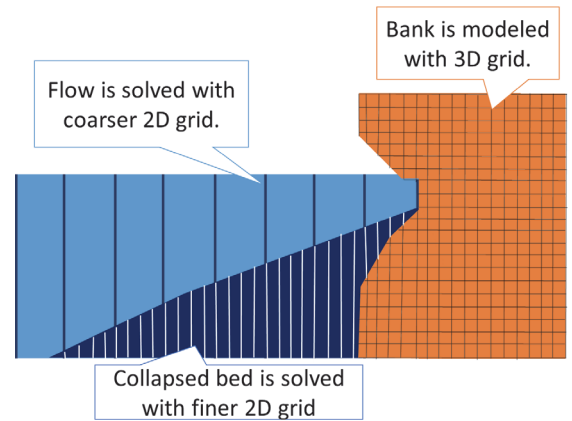


図1 モデル概念と三重格子の構成

- ① Eroded sand from the downward surface deposits on the cell below
- ② Eroded sand from the side surface deposited on the neighbor cell.
- ③ Eroded sand from the upper surface deposited on the cell itself.

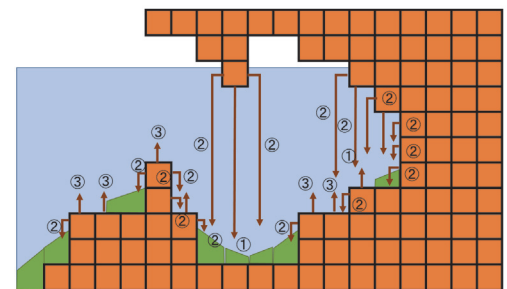


図2 河岸浸食の3つのタイプ

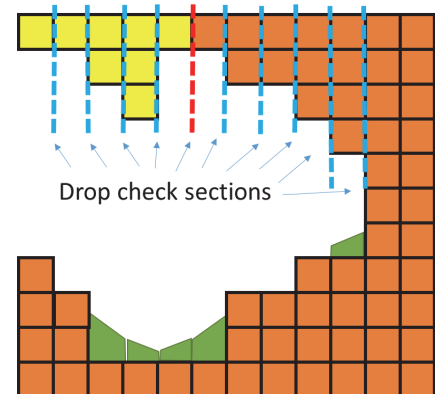


図3 河岸崩落モデル

・間欠崩落モデル

崩落はオーバーハングした箇所がせん断耐力を超えると下方に落下するものとする。図3のようにオーバーハングが生じている場合、崩落の判断は図中の全ての”drop check sections”(この場合は10断面)で行う。例えば図の赤破線の drop check section では、まず黄色部分の土砂重量を次のように計算する。

$$W_{oh} = \rho_s V = \rho_s \sum_k \Delta V_k \phi_k \quad (3)$$

ここに、 ρ_s :土砂の密度、 ΔV_k :セルkの土砂体積、 ϕ_k :セルkの土砂占有率である。 Σ は図の黄色のセルを対象とする。次に、drop check section(赤破線)のせん断耐力 F_{sh} を次式で計算する。

$$F_{sh} = c \sum_n A_n \quad (4)$$

ここに、 c : 粘着強度(応力)、 A_n : drop check section を構成するセルnの面積であり、 Σ 記号のnはdrop check section に対面するセルを対象とする。 $W_{oh} > F_{sh}$ のとき、崩落が生じ、崩落した土砂は鉛直下方の河床の掃流砂となるものとする。

・掃流砂モデル

横断方向の掃流砂量をしぐ次のように評価する。

$$q_{Bn} = q_{Bs} \left(-\frac{\partial z_b}{\partial n} \sqrt{\frac{\tau_c^*}{\mu_s \mu_k \tau^*}} \right), \quad q_{Bs} = 17 [\tau^* - \tau_c^*] \times [\tau^{*1/2} - \tau_c^{*1/2}] \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) g d^3} \quad (5)$$

ここに z_b :河床高、 q_{Bs} : 主流方向掃流フラックス、 μ_c : 動摩擦力、 μ_k : 静止摩擦力、 τ_c^* : 限界掃流力、 n :横断方向座標である。

・河床崩壊モデル

掃流砂部分の河床の角度については、従来のように安息角を考慮し、これを超えた場合に崩壊させ、安息角以下に保つ。

3. 計算結果の例

計算結果の一例を図4に示す。図の赤色部分が粘着性の河岸、グレー部分が掃流砂、青色部分が水を表す。この例では、実験室スケールとし、川幅1m、初期条件として河岸幅0.5m、河岸高さ60cmで河岸は垂直とし、掃流砂は存在しないとする。また、流量は200ℓ/s、河岸材料粒径:0.93mmとし、モデル定数として $C_{er0}:10^{-4}$ 、 $\tau_{ec}:10^{-3}$ とした。また、計算格子としては、流れを計算格子幅は2.5cm、河床格子幅は1mm、河岸格子(二次元格子)は1mm×1mmとした。

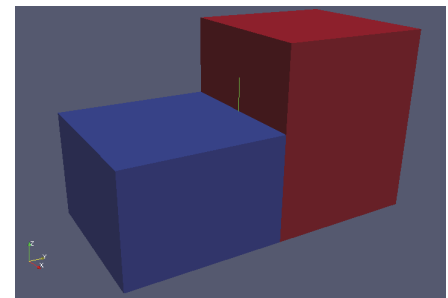
計算結果では、河岸浸食に伴いオーバーハングが生じ、それが間欠的に崩落する様子が適切に再現されていることがわかる。

4. 今後の課題

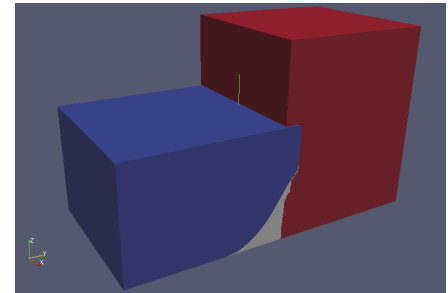
今後の課題として、まず実験結果との比較による定量的検証と、三次元への拡張が挙げられる。

参考文献

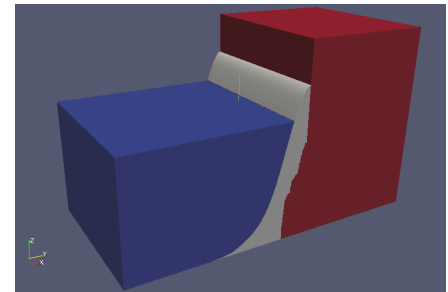
- 1) Nagata et al.: Numerical analysis of river channel processes with bank erosion, J. Hydraul. Eng., 126, 243-252, 2000.
- 2) Duan: Analytical approach to calculate rate of bank erosion, J. Hydraul. Eng., 131, 980-990, 2005.



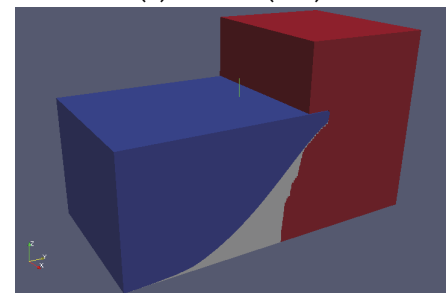
(a) t=0 (sec)



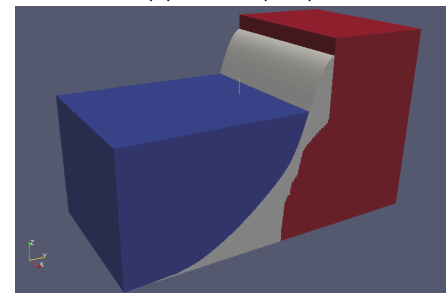
(b) t=15 (sec)



(c) t= 21 (sec)



(d) t=62 (sec)



(e) t=65 (sec)

図4 計算結果の一例